

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-228001

(43) 公開日 平成9年(1997)9月2日

| (51) Int.Cl. <sup>6</sup> | 識別記号  | 庁内整理番号 | F I           | 技術表示箇所  |
|---------------------------|-------|--------|---------------|---------|
| C 2 2 C 38/00             | 3 0 2 |        | C 2 2 C 38/00 | 3 0 2 Z |
| 38/42                     |       |        | 38/42         |         |
| 38/50                     |       |        | 38/50         |         |
| 38/58                     |       |        | 38/58         |         |

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 6 頁)

|           |                 |          |  |
|-----------|-----------------|----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願平8-36247      | (71) 出願人 | 000001258<br>川崎製鉄株式会社<br>兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28号 |
| (22) 出願日  | 平成8年(1996)2月23日 | (72) 発明者 | 宮田 由紀夫<br>岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内  |
|           |                 | (72) 発明者 | 木村 光男<br>岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内   |
|           |                 | (74) 代理人 | 弁理士 小林 英一                                      |
|           |                 | 最終頁に続く   |  |

(54) 【発明の名称】 耐孔食性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼およびマルテンサイト系ステンレス鋼管

(57) 【要約】

【課題】 炭酸ガスを含有する環境においても、耐孔食性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼および鋼管を提供する。

【解決手段】 単量で、Cr:10.0~14.0%、Ni:0.2~2.0%、Cu:0.2~1.0%を含有するマルテンサイト系ステンレス鋼および鋼管で、Cを0.02%以下、Nを0.03%以下に低減し、 $P値 = Cr + 3Cu - 3C + Ti + V + Zr + Nb + Ta$ を12.2以上とすることにより溶接性および耐孔食性が向上する。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量%で、C：0.02%以下、Si：0.5%以下、Mn：0.8～3.0%、Cr：10.0～14.0%、Ni：0.2～2.0%、Cu：0.2～1.0%、N：0.03%以下、を含有し、かつ、下記の(1)式で示されるP値が12.2以上を満足し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする耐孔食性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼。

記

$$P\text{値} = (Cr\%) + 3(Cu\%) - 3(C\%) \dots\dots\dots (1)$$

$$P\text{値} = (Cr\%) + 3(Cu\%) - 3(C\%) + (Ti\%) + (V\%) + (Zr\%) + (Nb\%) + (Ta\%) \dots\dots\dots (2)$$

【請求項3】 重量%で、C：0.02%以下、Si：0.5%以下、Mn：0.8～3.0%、Cr：10.0～14.0%、Ni：0.2～2.0%、Cu：0.2～1.0%、N：0.03%以下、を含有し、かつ、下記の(1)式で示されるP値が12.2以上を満足し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする耐孔食性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼管。

記

$$P\text{値} = (Cr\%) + 3(Cu\%) - 3(C\%) \dots\dots\dots (1)$$

$$P\text{値} = (Cr\%) + 3(Cu\%) - 3(C\%) + (Ti\%) + (V\%) + (Zr\%) + (Nb\%) + (Ta\%) \dots\dots\dots (2)$$

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、石油や天然ガスを輸送するラインパイプに用いて好適なマルテンサイト系ステンレス鋼およびマルテンサイト系ステンレス鋼管に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、石油・天然ガスは、掘削が容易なものは掘り尽くされ、腐食が厳しい、深度が深い、寒冷地や海底といった掘削環境が厳しい坑井にも手をつけざるを得なくなっている。このような坑井から生産される石油・天然ガスの中には、炭酸ガスを多量に含む場合が多く、このような環境では、炭素鋼あるいは低合金鋼では著しく腐食されるので、従来、その防食手段としてインヒビタを添加することが行われてきた。しかし、インヒビタの使用は、高コストとなることや、高温では効果が不十分なことから、近年ではインヒビタを用いる必要のない耐食材料を用いる傾向にある。このような耐食材料として油井管では、Crを13%含有するマルテンサイト系ステンレス鋼が広く用いられている。

【0003】一方、ラインパイプでは、API規格中にC量を低減した12%Cr系マルテンサイト系ステンレス鋼が規定されているが、この鋼は、円周溶接に予熱、後熱が必要であり高コストとなることや、溶接部の韌性に劣るという欠点があることから、ラインパイプとして一般にはほとんど採用されていない。そのため、耐食性ラインパイプ用材料としては、溶接性と耐食性に優れている

【請求項2】 重量%で、C：0.02%以下、Si：0.5%以下、Mn：0.8～3.0%、Cr：10.0～14.0%、Ni：0.2～2.0%、Cu：0.2～1.0%、N：0.03%以下、を含み、さらにTi、V、Zr、Nb、Taのうちから選ばれた1種または2種以上を合計で0.3%以下を含有し、かつ、下記(2)式で示されるP値が12.2以上を満足し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする耐孔食性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼。

記

【請求項4】 重量%で、C：0.02%以下、Si：0.5%以下、Mn：0.8～3.0%、Cr：10.0～14.0%、Ni：0.2～2.0%、Cu：0.2～1.0%、N：0.03%以下、を含み、さらにTi、V、Zr、Nb、Taのうちから選ばれた1種または2種以上を合計で0.3%以下を含有し、かつ、下記(2)式で示されるP値が12.2以上を満足し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする耐孔食性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼管。

記

との理由で、Crを高めNi、Moを含有する二相ステンレス鋼が用いられてきた。しかし、二相ステンレス鋼は坑井によっては過剰品質であったり、高コストとなるという問題があった。

【0004】上記問題を克服する技術として、例えば特開平4-99128号公報にはマルテンサイト系ステンレス鋼ラインパイプの製造方法が提案されている。同公報には、13%Cr系ステンレス鋼において、CおよびNを低減し、さらにCuを1.2～4.5%添加し、造管後の焼入れ冷却速度を水冷以上の冷却速度で冷却することにより、炭酸ガスを含む腐食環境においても優れた耐食性を示し、溶接熱影響部の硬さが低く、かつ、焼割れの問題がなく、生産性にも優れた高強度ラインパイプの製造方法が示されている。しかしながら、この方法によってもなお、溶接熱影響部(HAZ部)の韌性が十分でないという問題を残していた。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記問題点を解決し、炭酸ガスを含有する腐食環境においても高い耐全面腐食性、耐孔食性を有し、かつ、溶接割れ性および溶接部の韌性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼およびマルテンサイト系ステンレス鋼管を提供することを目的とするものである。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記課題を達成するため鋭意検討した結果、Cr、Cu、Cが炭酸ガスを含有する腐食環境で耐孔食性に著しい影響を与え、

$P = Cr\% + 3Cu\% - 3C\%$ なる式で耐孔食性が整理できることを新たに見出し、本発明を構成した。すなわち、本発明は、重量%で、C: 0.02%以下、Si: 0.5%以下、Mn: 0.8~3.0%、Cr: 10.0~14.0%、Ni: 0.2~2.0%、Cu: 0.2~1.0%、N: 0.03%以下、を含有し、かつ、下記の(1)式で示されるP値が12.2以上を満足し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする耐孔食性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼である。

【0007】記

$$P\text{値} = (Cr\%) + 3(Cu\%) - 3(C\%) + (Ti\%) + (V\%) + (Zr\%) + (Nb\%) + (Ta\%) \dots\dots\dots (2)$$

さらに、重量%で、C: 0.02%以下、Si: 0.5%以下、Mn: 0.8~3.0%、Cr: 10.0~14.0%、Ni: 0.2~2.0%、Cu: 0.2~1.0%、N: 0.03%以下、を含有し、かつ、下記の(1)式で示されるP値が12.2以上を満足し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする耐孔食性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼管である。

【0009】記

$$P\text{値} = (Cr\%) + 3(Cu\%) - 3(C\%) \dots\dots\dots (1)$$

$$P\text{値} = (Cr\%) + 3(Cu\%) - 3(C\%) + (Ti\%) + (V\%) + (Zr\%) + (Nb\%) + (Ta\%) \dots\dots\dots (2)$$

【0011】

【発明の実施の形態】まず、本発明鋼の成分組成の限定理由について説明する。

C: 0.02%以下

Cは、溶接熱影響部の硬さ低減、靱性向上および耐溶接割れ性の点から、および炭酸ガスを含む環境下での耐食性、耐孔食性を高める点からできるだけ低減することが望ましい。とくに、予熱なしで溶接ができるためには、Cは0.02%以下とすることが必要となり、C量の上限は0.02%以下とした。好ましくは、より良好な溶接性確保の点から0.015%以下である。

【0012】Si: 0.5%以下

Siは脱酸剤として添加されるが、フェライト生成元素であるので、多量に含有するとフェライトが生成しやすくなり、母材および溶接部の靱性を劣化させる。また、継目無鋼管においてはフェライトが存在すると、製造に支障をきたす恐れがある。したがって、Si量は0.5%以下に限定する。好ましくは0.3%以下である。

【0013】Mn: 0.8~3.0%

Mnは、脱酸剤として作用し、さらに強度を増加させる元素である。さらにオーステナイト生成元素であるため、フェライト生成を抑制し、母材および溶接部の靱性を向上させる働きも有している。このような効果を得るためには、0.8%以上必要であるが、3.0%を超えて添加しても効果は飽和するため、Mn量は0.8~3.0%、好ましくは1.1~2.7%とする。

【0014】Cr: 10.0~14.0%

$$P\text{値} = (Cr\%) + 3(Cu\%) - 3(C\%) \dots\dots\dots (1)$$

また、重量%で、C: 0.02%以下、Si: 0.5%以下、Mn: 0.8~3.0%、Cr: 10.0~14.0%、Ni: 0.2~2.0%、Cu: 0.2~1.0%、N: 0.03%以下、を含み、さらにTi、V、Zr、Nb、Taのうちから選ばれた1種または2種以上を合計で0.3%以下を含有し、かつ、下記(2)式で示されるP値が12.2以上を満足し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする耐孔食性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼である。

【0008】記

$$P\text{値} = (Cr\%) + 3(Cu\%) - 3(C\%) + (Ti\%) + (V\%) + (Zr\%) + (Nb\%) + (Ta\%) \dots\dots\dots (2)$$

また、重量%で、C: 0.02%以下、Si: 0.5%以下、Mn: 0.8~3.0%、Cr: 10.0~14.0%、Ni: 0.2~2.0%、Cu: 0.2~1.0%、N: 0.03%以下、を含み、さらにTi、V、Zr、Nb、Taのうちから選ばれた1種または2種以上を合計で0.3%以下を含有し、かつ、下記(2)式で示されるP値が12.2以上を満足し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする耐孔食性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼管である。

【0010】記

$$P\text{値} = (Cr\%) + 3(Cu\%) - 3(C\%) + (Ti\%) + (V\%) + (Zr\%) + (Nb\%) + (Ta\%) \dots\dots\dots (2)$$

Crはマルテンサイト組織を確保し、かつ炭酸ガスを含む腐食環境における耐食性および耐孔食性を高めるために必要な基本元素である。これらの効果を得るためには10.0%以上の添加が必要である。また、14.0%を超えて含有するとフェライトの生成が容易となり、マルテンサイト組織を安定して得るためには多量のオーステナイト生成元素の添加が必要となり、コスト高となる。よって、Cr量は10.0~14.0%とする。

【0015】Ni: 0.2~2.0%

Niはオーステナイト生成元素であり、フェライトの生成を抑制し、母材および溶接部の靱性を向上させる。また、炭酸ガスを含む腐食環境下における耐食性、耐孔食性を向上させる。このような効果を得るためには0.2%以上の添加が必要であるが、2.0%を超えて添加すると変態点が低下し、焼戻し温度が低くなり、所定の強度・靱性を得るために長時間の焼戻しを必要とする。したがって、Ni量は0.2~2.0%の範囲とした。なお、好ましくは、より安定な耐食性および焼戻し特性の確保の点から0.5~1.7%である。

【0016】Cu: 0.2~1.0%

CuはNi、Mnとともにオーステナイト生成元素であり、フェライトの生成を抑制し、溶接熱影響部の靱性向上、耐全面腐食性向上に効果がある。さらに、Cuは炭酸ガスおよび塩化物を含有する環境で不動皮膜を安定化する効果があり、耐孔食性の向上に寄与する。これらの効果を得るには0.2%以上の添加が必要である。しかし、1.0%を超えて含有すると一部が固溶せず析出するようにな



り、溶接熱影響部の靱性に悪影響を与える。よって、Cuは0.2～1.0%の範囲とした。なお、好ましくは0.2～0.7%である。

【0017】N：0.03%以下

Nは、Cと同様、溶接熱影響部の硬さ低減、溶接熱影響部の靱性向上、耐溶接割れ性の点からできるだけ低いほうが望ましい。0.03%を超えると溶接割れが発生し、溶接熱影響部の靱性が劣化することから、N量は0.03%以下、好ましくは0.02%以下とする。

【0018】 $P\text{値} = \text{Cr}\% + 3\text{Cu}\% - 3\text{C}\% + \text{Ti}\% + \text{V}\% + \text{Zr}\% + \text{Nb}\% + \text{Ta}\%$ ：12.2以上

P値は、炭酸ガスを含む環境における耐孔食性を評価する指標で、このP値が12.2以上では、炭酸ガス分圧3.0MPa、20%NaCl液中という厳しい環境においても孔食が発生することはない。P値が12.2未満では、孔食が発生するため12.2を下限とした。なお、好ましくは12.2～14.2である。P値が高すぎるとマルテンサイト組織の確保が困難になるなどの不都合が生じる。

【0019】Ti、V、Zr、Nb、Taのうちの1種または2種以上の合計：0.3%以下

Ti、V、Zr、Nb、TaはCとの親和力が強く、炭化物を形成する傾向が強い。Ti、V、Zr、Nb、Taの1種または2種以上を添加し、Cr炭化物をTi、V、Zr、Nb、Taの炭化物に置換する。これによりCr炭化物量が減少し、耐食性とくに耐孔食性に有効な有効Cr量を増加させることができる。

【0020】Ti、V、Zr、Nb、Taは母材、溶接熱影響部の靱性向上に効果があるが、合計で0.3%を超えると溶接割れ感受性が増加することや靱性を劣化させることから、0.3%を上限とした。Ti単独では0.01～0.2%、V単独では0.01～0.1%、Zr単独では0.01～0.1%、Nb単独では0.01～0.1%、Ta単独では0.01～0.1%が好ましい。複合添加した場合には合計で0.03～0.2%が好ましい。

【0021】その他元素は、不可避免的に含有するが、できるだけ低減するのが望ましい。例えば、P、Sはそれぞれ0.03%、0.01%までは許容できるが、できるだけ低減する。Oは0.01%まで許容できる。上記した組成を有するステンレス鋼は、転炉あるいは電気炉で溶製し、連続鋳造法あるいは造塊法で凝固させる。溶鋼の取鍋精錬、真空脱ガス等は必要に応じ実施してよい。

【0022】凝固した鋼管素材は、プラグミル方式、マ

ンドレルミル方式などの熱間圧延によって継目無鋼管とするか、あるいは熱間圧延により鋼板としたのち溶接によってUOE鋼管、電縫鋼管、スパイラル鋼管などにする。継目無鋼管製造方法、溶接鋼管製造方法いずれも本発明に適用できる。造管後、熱処理を施す。熱処理は、焼入れ焼戻しを基本とする。

【0023】焼入れは $A_{c3}$ 点以上1000℃以下に加熱後、空冷以上の冷却速度で200℃以下まで冷却する。焼戻しは、600℃以上 $A_{c1}$ 点以下で行うのが好ましい。上記温度に加熱保持後水冷あるいは空冷する。

【0024】

【実施例】

(実施例1)表1に示す組成の鋼を溶製し、連続鍛造によりスラブとしたのち、熱間圧延により板厚15mmの鋼板とした。ついで、900℃に加熱し空冷により焼入れたのち、 $A_{c1}$ 点以下の680℃で焼戻した。

【0025】これらの鋼板に対して、JIS Z 3158にしたがい予熱30℃で斜めY形溶接割れ試験を行い、溶接割れ性を評価した。割れの発生したものを○、発生しなかったものを×とした。この試験にて断面割れの発生しなかったものについては、TIG溶接法（予熱、後熱はともに行わず）により、入熱15kJ/cmで溶接して溶接継手を作製し、溶接熱影響部のシャルピー衝撃試験を実施した。シャルピー衝撃試験は熱影響部（ノッチ位置：ボンド部から1mm）からJIS 4号試験片を採取し、0℃において試験し吸収エネルギーを測定した。

【0026】また、全鋼板に対して、母材の炭酸ガス腐食試験を実施し、耐孔食性と耐全面腐食性を評価した。炭酸ガス腐食試験は、オートクレーブ中で3.0MPaの炭酸ガスを飽和させた20%NaCl水溶液中に、母材から採取した3.0mm×25mm×50mmの試験片を浸漬し、80℃で7日間保持した。耐孔食性は、試験後、試験片を水洗、乾燥したのち肉眼で試験片表面を観察し、孔食の有無を調査した。1個以上孔食が発生したとき×、それ以外は○として評価した。

【0027】耐全面腐食性は、試験後、試験片を水洗、乾燥したのち重量を測定し、重量減少速度を1年間での厚み減少量に換算して評価した。これらの試験結果を表2に示す。

【0028】

【表1】

| No | 化 学 組 成 (重量%) |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       | P 値   | 備 考  |
|----|---------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|    | C             | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Cu   | N     | Ti    | V     | Zr    | Nb    | Ta    | 合 計   |       |      |
| 1  | 0.011         | 0.20 | 1.51 | 12.0 | 1.03 | 0.51 | 0.010 |       |       |       |       |       | —     | 13.50 | 本発明例 |
| 2  | 0.010         | 0.19 | 1.49 | 11.0 | 0.80 | 0.51 | 0.009 |       |       |       |       |       | —     | 12.50 | 本発明例 |
| 3  | 0.010         | 0.21 | 1.49 | 12.1 | 1.02 | 0.49 | 0.009 | 0.020 | 0.059 |       |       |       | 0.079 | 13.62 | 本発明例 |
| 4  | 0.018         | 0.20 | 1.49 | 12.0 | 0.81 | 0.51 | 0.011 |       | 0.042 |       |       |       | 0.042 | 13.52 | 本発明例 |
| 5  | 0.011         | 0.19 | 1.53 | 11.9 | 0.82 | 0.50 | 0.025 | 0.030 |       |       | 0.050 |       | 0.080 | 13.45 | 本発明例 |
| 6  | 0.010         | 0.18 | 1.50 | 10.9 | 0.79 | 0.49 | 0.012 |       | 0.071 | 0.020 |       |       | 0.091 | 12.43 | 本発明例 |
| 7  | 0.011         | 0.20 | 1.49 | 12.9 | 0.50 | 0.28 | 0.011 | 0.050 | 0.045 |       |       |       | 0.095 | 13.80 | 本発明例 |
| 8  | 0.009         | 0.18 | 1.52 | 11.2 | 0.27 | 0.49 | 0.012 | 0.030 | 0.049 |       |       | 0.030 | 0.109 | 12.75 | 本発明例 |
| 9  | 0.018         | 0.21 | 1.52 | 11.0 | 0.80 | 0.40 | 0.011 |       | 0.051 |       | 0.040 |       | 0.091 | 12.24 | 本発明例 |
| 10 | 0.010         | 0.19 | 1.47 | 11.9 | 0.98 | 0.25 | 0.011 | 0.020 | 0.051 |       |       |       | 0.071 | 12.69 | 本発明例 |
| 11 | 0.011         | 0.21 | 1.52 | 11.8 | 0.80 | 0.39 | 0.012 | 0.105 | 0.042 |       |       |       | 0.147 | 13.08 | 本発明例 |
| 12 | 0.013         | 0.19 | 1.49 | 12.1 | 0.85 | 0.52 | 0.011 |       | 0.045 |       | 0.015 | 0.043 | 0.103 | 13.72 | 本発明例 |
| 13 | 0.012         | 0.18 | 1.51 | 11.8 | 0.79 | 0.55 | 0.015 | 0.021 | 0.035 | 0.035 | 0.020 |       | 0.111 | 13.53 | 本発明例 |
| 14 | 0.025         | 0.21 | 1.49 | 11.8 | 0.99 | 0.58 | 0.016 | 0.015 | 0.042 |       |       |       | 0.057 | 13.52 | 比較例  |
| 15 | 0.012         | 0.19 | 1.51 | 11.9 | 0.98 | 0.49 | 0.038 |       | 0.049 |       |       |       | 0.049 | 13.38 | 比較例  |
| 16 | 0.011         | 0.20 | 1.53 | 9.2  | 1.20 | 0.63 | 0.012 |       | 0.054 |       |       |       | 0.054 | 11.11 | 比較例  |
| 17 | 0.012         | 0.19 | 1.50 | 14.1 | 0.75 | 0.45 | 0.011 | 0.015 | 0.045 |       | 0.025 |       | 0.085 | 15.50 | 比較例  |
| 18 | 0.011         | 0.22 | 1.48 | 12.1 | 0.01 | 0.54 | 0.013 | 0.021 | 0.035 |       |       |       | 0.056 | 13.74 | 比較例  |
| 19 | 0.012         | 0.19 | 1.51 | 11.9 | 1.01 | 1.52 | 0.011 | 0.015 | 0.045 |       |       |       | 0.060 | 16.48 | 比較例  |
| 20 | 0.010         | 0.22 | 1.49 | 12.1 | 1.02 | 0.46 | 0.013 | 0.172 | 0.088 |       | 0.085 |       | 0.345 | 13.80 | 比較例  |
| 21 | 0.015         | 0.23 | 1.49 | 11.7 | 1.10 | 0.11 | 0.011 | 0.015 | 0.068 |       |       |       | 0.083 | 12.07 | 比較例  |
| 22 | 0.019         | 0.19 | 1.50 | 11.1 | 0.89 | 0.30 | 0.012 | 0.023 | 0.051 |       |       |       | 0.074 | 12.02 | 比較例  |

【0029】

【表2】

| No | 母 材 特 性  |          |            | 溶接<br>割れ | 溶接熱<br>影響部の<br>$vE_0$ (J) | 孔食 | 腐食<br>速度<br>(mm/Y) | 備 考  |
|----|----------|----------|------------|----------|---------------------------|----|--------------------|------|
|    | YS (MPa) | TS (MPa) | $vE_0$ (J) |          |                           |    |                    |      |
| 1  | 605      | 710      | 265        | ○        | 220                       | ○  | 0.069              | 本発明例 |
| 2  | 593      | 705      | 272        | ○        | 231                       | ○  | 0.084              | 本発明例 |
| 3  | 620      | 732      | 255        | ○        | 205                       | ○  | 0.072              | 本発明例 |
| 4  | 595      | 700      | 265        | ○        | 185                       | ○  | 0.085              | 本発明例 |
| 5  | 600      | 715      | 252        | ○        | 195                       | ○  | 0.078              | 本発明例 |
| 6  | 625      | 730      | 283        | ○        | 214                       | ○  | 0.085              | 本発明例 |
| 7  | 615      | 720      | 272        | ○        | 188                       | ○  | 0.051              | 本発明例 |
| 8  | 580      | 703      | 293        | ○        | 203                       | ○  | 0.089              | 本発明例 |
| 9  | 575      | 695      | 275        | ○        | 196                       | ○  | 0.088              | 本発明例 |
| 10 | 593      | 703      | 269        | ○        | 230                       | ○  | 0.069              | 本発明例 |
| 11 | 607      | 723      | 273        | ○        | 193                       | ○  | 0.078              | 本発明例 |
| 12 | 587      | 693      | 292        | ○        | 223                       | ○  | 0.073              | 本発明例 |
| 13 | 596      | 704      | 280        | ○        | 215                       | ○  | 0.080              | 本発明例 |
| 14 | 609      | 725      | 240        | ×        | 168                       | ○  | 0.080              | 比較例  |
| 15 | 582      | 695      | 200        | ×        | 112                       | ○  | 0.086              | 比較例  |
| 16 | 596      | 721      | 263        | ○        | 209                       | ×  | 0.541              | 比較例  |
| 17 | 573      | 699      | 252        | ○        | 178                       | ○  | 0.040              | 比較例  |
| 18 | 595      | 715      | 205        | ○        | 131                       | ○  | 0.103              | 比較例  |
| 19 | 602      | 715      | 180        | ○        | 95                        | ○  | 0.062              | 比較例  |
| 20 | 589      | 702      | 156        | ×        | 85                        | ○  | 0.074              | 比較例  |
| 21 | 601      | 721      | 273        | ○        | 211                       | ×  | 0.159              | 比較例  |
| 22 | 590      | 717      | 207        | ○        | 93                        | ×  | 0.201              | 比較例  |

【0030】本発明例は、予熱30℃においても溶接割れの発生は認められず、優れた耐溶接割れ性を有している。また、HAZ部の0℃の吸収エネルギーも180J以上を有し、高い溶接熱影響部靱性を有していることがわ

かる。さらに、孔食の発生もみられず、腐食速度も0.1mm/年以下と、実用的に使用可能なレベルであり、優れた耐孔食性、耐全面腐食性を有している。

【0031】本発明の範囲をはずれた鋼板は、溶接割れ

が発生する、HAZ部靱性が低い、孔食が発生する、高腐食速度が高いなど、本発明例に比較し特性は劣化する。

(実施例2) 表3に示す成分組成を有する溶鋼を転炉で溶製し、連続鋳造により鋼管素材とした。この鋼管素材をプラグミル圧延により273mmφの鋼管とした。造管後、900℃に加熱したのち、水焼入れし、その後 $A_{c1}$ 点以下の680℃に加熱保持し空冷した。

【0032】このように処理した鋼管から試片を採取

し、機械的特性および腐食試験を実施した。腐食試験条件は実施例1と同様とした。TIG溶接(電圧:16V、電流:180A、溶接速度:6.0cm/min)で鋼管継手を作製し、HAZ部(ボンドから1mm)シャルピー試験を実施した。その結果を表3に示す。いずれも、耐孔食性、耐全面腐食性、溶接熱影響部靱性は優れており、ラインパイプ用として十分な特性である。

【0033】

【表3】

| No. | 化 学 組 成 (重量%) |      |      |      |      |      |       |       |       |    |    |    |       | 母材<br>YS<br>MPa | 溶接熱<br>影響部<br>の $\chi E_0$<br>(J) | 孔<br>食 | 腐食<br>速度<br>(mm/Y) | 備 考        |
|-----|---------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|----|----|----|-------|-----------------|-----------------------------------|--------|--------------------|------------|
|     | C             | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Cu   | N     | Ti    | V     | Zr | Nb | Ta | 合 計   |                 |                                   |        |                    |            |
| A   | 0.010         | 0.21 | 1.51 | 10.9 | 0.81 | 0.49 | 0.009 | —     | —     | —  | —  | —  | —     | 12.34           | 589                               | 210    | ○                  | 0.072 本発明例 |
| B   | 0.011         | 0.20 | 1.52 | 11.1 | 1.51 | 0.51 | 0.011 | 0.035 | 0.031 | —  | —  | —  | 0.066 | 12.66           | 605                               | 223    | ○                  | 0.067 本発明例 |

【0034】

【発明の効果】このように本発明によれば、炭酸ガスを含有する環境で優れた耐孔食性および耐全面腐食性を示し、かつ溶接部の靱性、溶接性に優れたマルテンサイト

系ステンレス鋼が提供でき、さらに、石油・天然ガスなどを輸送するためのラインパイプ用鋼管が安価に提供でき、産業の発展に寄与するところが極めて大きい。

フロントページの続き

(72)発明者 小関 智也

岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内

(72)発明者 豊岡 高明

岡山県倉敷市水島川崎通1丁目(番地なし) 川崎製鉄株式会社水島製鉄所内